марки А ширина листовой пластинки тысячелистника была на 104,3% выше контрольной (2,3 см) и на 20,5% – выше эталона. Для марки Б прирост ширины листа был на 86,9% выше контрольных показателей (2,3 см); на 10,2% – выше показателей эталона (3,9 см). В опыте выявлены существенные различия между вариантами (*табл. 4*, *рис. 3*).

Таким образом, применение отечественных бактеризованных гранулированных удобрений на основе трепела – тонкопористой опаловой осадочной породы Хотимского месторождения и бактерий-антагонистов *Bacillus amyloliquefaciens* – способствуют улучшению питательного режима почв, являются стабильным источником полезной микрофлоры в процессе роста растений, укрепляют их иммунную систему, ускоряют рост и развитие. В планах разработчиков – провести испытания эффективности созданных удобрений на других сельскохозяйственных культурах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кожемяков А. П. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия / А. П. Кожемяков, С. Н. Белоброва, А. Г. Орлова // С.-х. биология. Сер. Биология растений. 2011. №3. С. 112–115.
2. Биопрепараты в сельском хозяйстве: методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве / И. А. Тихонович [и др.]; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. микробиологии. – М., 2005.
3. Чеботарь В. К. Эффективность применения биопрепарата экстрасол / В. К. Чеботарь, А. А. Завалин, Е. Н. Кипрушкина. – М., 2007.
4. Коломиец Э. И. Новые подходы к созданию биологических средств защиты растений / Э. И. Коломиец // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук, 2016. №2. С. 62–68.
5. Москальчук Л. Н. Сорбционные свойства основных типов почв, природного сырья и промышленных отходов / Л. Н. Москальчук. – Минск, 2008.
6. Влияние трепела в составе корнеобитаемой среды на ростстимулирующее действие интродуцированного бактериального препарата / Ж. Н. Калацкая [и др.] // Biotechnology for agriculture and environmental protection: Proceedings – Odessa: I. I. Mechnikov / Odessa National University, 2016. P. 105–106.
7. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика: учеб. пособие. 3-е изд., испр. – Минск, 1973.

SEE http://innosfera.by/2019/03/plants

Новые почвоулучшающие добавки для загрязненных радиоактивным цезием земель

Аннотация. *Исследовано влияние почвоулучшающих добавок на основе биоугля и комплекса микроорганизмов (молочнокислые и пурпурные бактерии, дрожжевые грибы) на снижение перехода радиоактивного изотопа цезия в растения. Показано, что данные добавки снижают биодоступность* ^{137}*Cs и его переход в надземную массу растений, а также положительно влияют на их рост и развитие.*

Ключевые слова: *цезий, биоуголь, пшеница, овощные культуры.*

Для цитирования:
Чешик И., Никитин А. Новые почвоулучшающие добавки для загрязненных радиоактивным цезием земель // Наука и инновации. 2019. №3. С. 21–25. https://doi.org/10.29235/1818-9857-2019-3-21-25



Игорь Чешик,
директор Института радиобиологии НАН Беларуси, кандидат медицинских наук, доцент;
igor.cheshik@gmail.com



Александр Никитин,
заведующий лабораторией радиоэкологии Института радиобиологии НАН Беларуси, кандидат сельскохозяйственных наук;
nikitinale@gmail.com

Глобальное изменение климата, загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, радиоактивными веществами, ксенобиотиками, сокращение площадей и падение плодородия сельскохозяйственных угодий относят к числу наиболее острых экологических проблем. Поиск средств и способов их решения является актуальной задачей. Но преодоление одной из этих проблем не должно сопровождаться обострением других, а в идеале – могло бы снизить напряженность комплексно.

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Перспективными являются технологии, связанные с биоуглем – продуктом термической переработки органической массы без доступа кислорода, предназначенным для внесения в почву [1]. Он обладает набором характеристик, делающим этот материал не только ценным почвенным мелиорантом, но и удобным инструментом для консервации углерода и предотвращения накопления углекислого газа в атмосфере [2].

В числе характеристик биоугля – большая площадь свободной поверхности на единицу массы и объема, а также высокая сорбционная способность [4]. Данный факт позволил выдвинуть гипотезу, что его внесение в почву позволит не только повысить ее плодородие, но и снизить накопление в растениях ^{137}Cs – основного долгоживущего дозообразующего радионуклида на территориях, загрязненных вследствие крупных аварий на атомных электростанциях.

Падение биологического разнообразия почвенной микрофлоры и сдвиг ее в сторону аэробных сообществ стало следствием комплексного негативного воздействия интенсивного сельского хозяйства и загрязнения окружающей среды. В результате нарушаются процессы трансформации органического вещества в почве, снижается ее плодородие, уменьшается устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды. Микроорганизмы оказывают существенное влияние на физические и химические свойства почв, протекание в них различных процессов, а также на физиологический статус укорененных растений. Обитающие в грунте бактерии, грибы и водоросли активно участвуют в разрушении и образовании минералов, косвенно влияя на биологическую доступность тяжелых металлов и радионуклидов [5]. Кроме того, последние могут прочно фиксироваться на клеточных стенках или во внутриклеточных структурах микроорганизмов [6–11]. В связи с этим сдвиг в качественном и количественном составе почвенной микробиоты может изменить поведение радиоактивных веществ в пищевых цепочках [12].

Помочь восстановить биологическую активность почвы могут специальные микробиологические препараты. К ним относятся и так называемые эффективные микроорганизмы (ЭМ) [13]. Это комплексный препарат, включающий пурпурные и молочнокислые бактерии, а также дрожжевые грибы. Во многих случаях используется жидкая форма ЭМ. Но наиболее эффективной для его внесения в почву считается твердая – компост, получаемый при анаэробной ферментации органических остатков определенного состава с использованием комплекса микроорганизмов. Биоуголь создает благоприятную среду для почвенной микробиоты [1], поэтому его внесение как в комплексе с ЭМ, так и отдельно должно положительно отразиться на восстановлении биологической активности.

Целью нашего исследования была оценка возможности использования биоугля и микробиологического препарата ЭМ для улучшения почвенного плодородия и снижения биологической доступности ^{137}Cs. Для решения

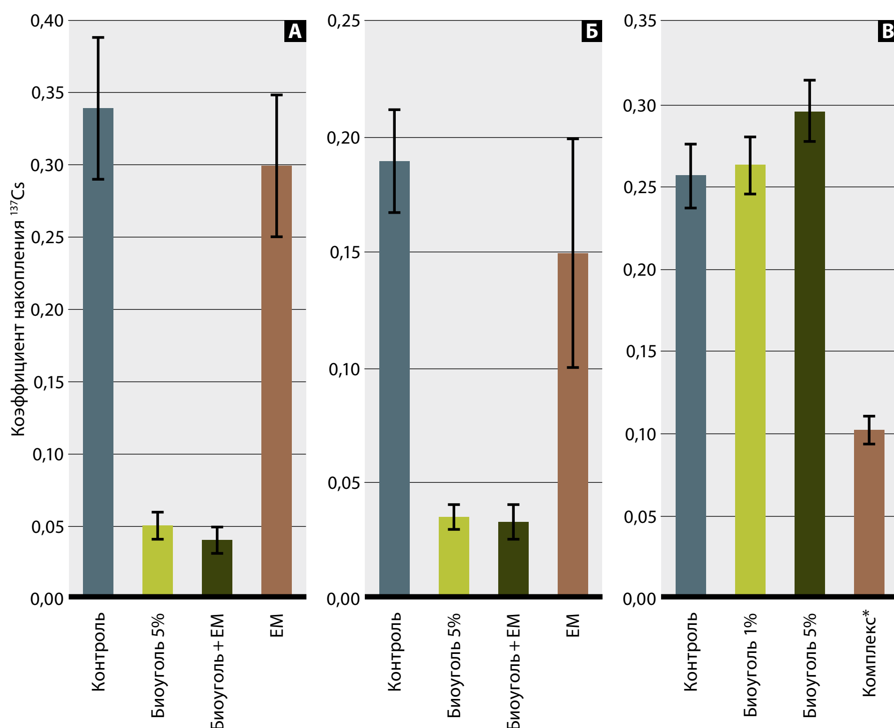


Рис. 1. Коэффициент накопления ^{137}Cs в надземных органах 35-дневных (**А**) и 64-дневных (**Б**) растений пшеницы яровой, мангольда (**В**) (абсолютно сухое состояние) при внесении в почву биоугля и эффективных микроорганизмов.
ЕМ – внесение в почву препарата ЕМ «Конкур» (жидкая форма);
комплекс* – внесение в почву комплексной добавки, состоящей из биоугля и бокаши

поставленной цели была выполнена серия лабораторных и полевых экспериментов.

Потенциал новых почвоулучшающих добавок в снижении накопления ^{137}Cs растениями

Лабораторные вегетационные опыты проводились в камере с регулируемым климатом. Для этого использовались дерново-подзолистая супесчаная и торфяно-болотная почвы, отобранные на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Их удельная активность по ^{137}Cs составляла около 8–10 кБк/кг.

В эксперименте с внесением биоугля в дозе 5% от массы грунта в абсолютно сухом состоянии было установлено существенное снижение накопления радиоактивного изотопа цезия в надземных органах 35-дневных растений пшеницы (*рис. 1А*). В то же время обработка почвы микробиологическим препаратом ЭМ в жидкой форме не вызывала достоверных изменений по данному показателю. Но минимальное накопление ^{137}Cs в биомассе пшеницы наблюдалось при сочетании внесения биоугля в почву и обработки ЭМ.

Сходная картина наблюдалась и при анализе параметров перехода ^{137}Cs в надземные органы 64-дневных растений пшеницы яровой (*рис. 1Б*). Внесение биоугля в почву снизило коэффициент накопления радионуклида почти на 80%.

У листовой овощной культуры мангольд данный показатель при внесении биоугля в почву органического происхождения практически не изменился (*рис. 1В*). Однако при использовании комплексного мелиоранта, состоящего из биоугля и компоста, получаемого при анаэробной ферментации пшеничных отрубей с использованием ЭМ – бокаши, достигается 2,5-кратное снижение накопления радионуклида в надземных органах.

Полевой эксперимент был проведен в Ветковском районе на землях ОАО «Хальч» с плотностью загрязнения – 149 кБк/м^2. Дерново-подзолистая супесчаная почва характеризовалась низкой емкостью поглощения и невысоким запасом основных минеральных элементов питания (K_2O – 178 мг/кг; P_2O_5–340 мг/кг; Ca – 726 мг/кг; Mg – 281 мг/кг), содержание органического вещества в почве – 2,14%. В эксперименте было испытано влияние на переход ^{137}Cs в ячмень и салат как калийного удобрения (KCl, 20 г/м^2), так и почвоулучшающих добавок на основе ЭМ (в жидкой и твердой форме), а также их сочетаний.

В условиях данного эксперимента внесение хлорида калия в почву не привело к достоверному снижению накопления радионуклида в салате, но для ячменя составило более 35% (*таблица*). Эффект от обработки почвы и растений ЭМ в жидкой форме аналогичен эффекту от внесения хлорида калия. Но при совместном использовании с минеральным удобрением наблюдается максимальное подавление перехода ^{137}Cs в надземные органы растений. Для салата оно составило 18%, для ячменя – 62%. Следовательно, ЭМ усиливает эффективность калийных удобрений по ограничению перехода радиоактивного цезия в надземные органы растений.

В эксперименте с салатом применение бокаши и бокаши с жидким ЭМ не имеет преимуществ по сравнению с хлоридом калия. В случае с ячменем в данных вариантах наблюдается 10–20%-ное снижение накопления радиоактивного изотопа цезия по сравнению с вариантом с минеральным удобрением.

Анализ показателей роста и развития растений показал, что внесение в почву биоугля повышает всхожесть, энергию прорастания и биологическую продуктивность испытанных зерновых и овощных культур. Использование комбинации дает еще больший эффект. Например, масса надземных органов мангольда с единицы площади при внесении

Вариант	Салат	Ячмень
Контроль	0,19±0,03	0,16±0,01*
KCl	0,17±0,05	0,10±0,04
ЭМ	0,18±0,02	0,10±0,03*
Бокаши	0,18±0,02	0,09±0,04*
ЭМ+бокаши	0,17±0,01*	0,08±0,02*
ЭМ+KCl	0,16±0,02*	0,06±0,02*

Таблица. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в надземные органы салата и ячменя при внесении в почву калийного удобрения и почвоулучшающих добавок на основе ЭМ

*Примечание: * – различие с контролем достоверно на уровне значимости 0,05*

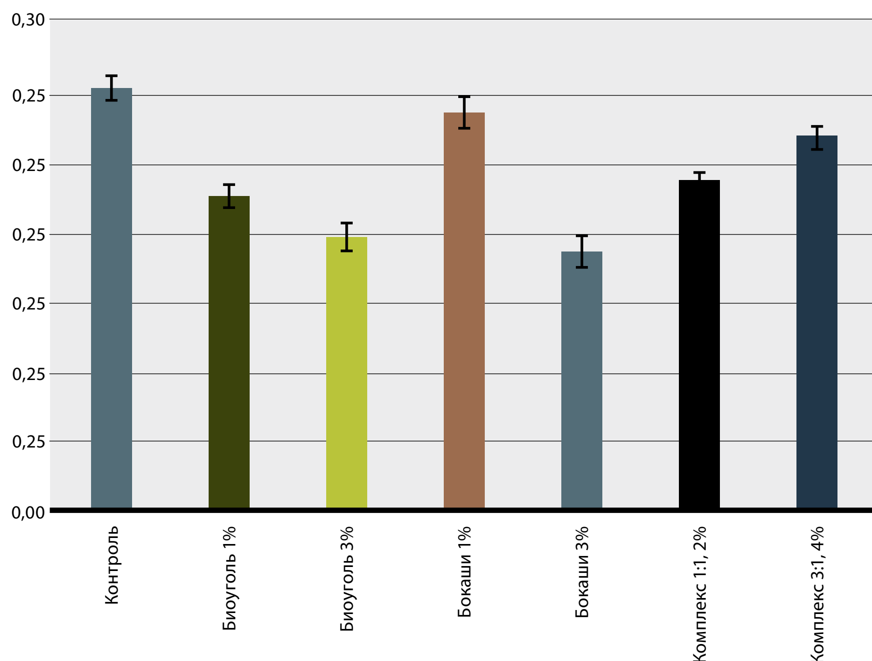


Рис. 2. Доля растворимой и обменной физико-химических форм ^{137}Cs в органической почве после внесения в нее биоугля, бокаши и комплексных почвоулучшающих добавок, %

в почву биоугля в дозе 5% увеличилась на 10%, и при внесении смеси в общей дозе 6% от массы почвы в абсолютно сухом состоянии – почти на 60%.

Результаты агрохимических анализов показывают, что данная комбинированная почвоулучшающая добавка, как правило, снижает обменную и гидролитическую кислотность. При этом биоуголь отдельно практически не сказывается на обменной кислотности, а гидролитическую – заметно понижает. Биоуголь положительно влияет на содержание в почве обменного калия и кальция. При его внесении в дозе 5% данные показатели повышаются на 30–45%. Сильнейшего увеличения содержания обменного калия в почве удалось достичь при использовании комбинированной почвоулучшающей добавки. В этом варианте также наблюдается существенное повышение содержания обменного магния и 16%-ное увеличение содержания подвижного фосфора.

Исходя из физико-химических свойств биоугля, предполагалось, что его внесение в почву увеличит сумму поглощенных оснований и емкость поглощения. Однако проведенные эксперименты не подтвердили эту гипотезу. Лишь внесение биоугля в комплексе с бокаши достоверно увеличило емкость поглощения, но в этом варианте наблюдалось некоторое уменьшение содержания органического вещества.

Если влияние концентрации K^+ в почвенном растворе на величину корневого поступления Cs^+ изучено достаточно хорошо, то роль почвенных микроорганизмов остается во многом неисследованной. В экспериментах с рапсом было показано, что инокуляция семян бактериальными препаратами может как усиливать, так и ослаблять накопление ^{137}Cs растениями [14]. Эксперименты Джейдиди и др. также свидетельствуют, что эффект сильно зависит от комбинации культуры и вида микроорганизмов [15]. Следует принимать во внимание многогранность их возможного влияния на корневое поступление цезия. Они могут снижать его биологическую доступность за счет перевода в химически связанное состояние или прямой сорбции. Кроме того, известно влияние почвенной микробиоты на физиологическое состояние растений и роль микоризообразующих грибов в минеральном питании.

Влияние почвоулучшающих добавок на биологическую доступность ^{137}Cs в почве

Согласно нашей гипотезе, биоуголь, обладая высокой удельной площадью поверхности с большим количеством функциональных групп, способен сорбировать цезий наряду с другими элементами, обусловливая тем самым снижение доли его биологически доступных форм, на что, по нашему мнению, способны и микроорганизмы, входящие в состав ЭМ. Для проверки данной гипотезы была осуществлена процедура последовательной экстракции ^{137}Cs из экспериментальных образцов почвы серией реагентов с последующей оценкой содержания радионуклида.

Как показывают результаты анализа, максимальный эффект оказывает раздельное внесение биоугля и бокаши в дозе 3% от массы почвы в абсолютно сухом состоянии (*рис. 2*).

Дополнительно была оценена скорость уменьшения содержания

биодоступного цезия при внесении различных почвоулучшающих добавок посредством серии измерений активности ^{137}Cs в растворимой и обменной формах в различные сроки. Наиболее быстрыми темпами сокращался радионуклид в биодоступной форме при внесении в почву бокаши в дозе 3%. На протяжении первых двух месяцев эксперимента данное изменение составило более 50% от исходного запаса биодоступного радионуклида. Несколько ниже была скорость падения доли растворимого и обменного ^{137}Cs в варианте с внесением 3% биоугля. Эффективность почвенной почвоулучшающей добавки в дозе 6% от массы почвы в абсолютно сухом состоянии оказалась аналогичной эффективности бокаши в дозе 3%.

Анализ полученных результатов позволил выдвинуть гипотезу о наличии двух механизмов воздействия биоугля на биологическую доступность цезия. Первый (быстрый) связан с повышением концентрации ионов калия при внесении биоугля. На почвах, бедных доступным калием, это может снизить коэффициент перехода ^{137}Cs почти на порядок. Второй механизм (медленный) связан с сорбцией цезия на биоугле. Причем комплекс микроорганизмов (штаммы молочнокислых бактерий, пурпурных бактерий и дрожжевых грибов) ускоряет сорбцию радионуклида.

Таким образом, результаты экспериментов свидетельствуют о том, что почвоулучшающие добавки на основе биоугля, компоста, получаемого при переработке органического материала с использованием эффективных микроорганизмов, и их комбинации снижают биологическую доступность ^{137}Cs и его переход в надземную массу растений, одновременно оказывая положительное влияние на их рост и развитие. Наиболее эффективен данный прием на минеральных почвах с невысокой обменной емкостью и низким содержанием доступного калия – здесь биоуголь позволяет снизить коэффициенты накопления ^{137}Cs в надземной биомассе на порядок и более. Его мелиоративные свойства слабо проявляются на почвах с высоким содержанием органического вещества (торфяные). Полученные результаты позволяют предложить возможность нового приема снижения поступления радиоактивного цезия в продукцию растениеводства. Его преимуществами являются низкая стоимость мелиоранта (продукты переработки органических отходов) и долговременный эффект. И

Summary. Results of research on the effect of soil improvers on reducing the transfer of the radioactive cesium isotope into plants are presented in the article. The soil improvers are based on biochar and a complex of microorganisms (lactic acid and purple bacteria, yeast fungi). It is shown that designed improvers can reduce the bioavailability of ^{137}Cs and its transition to the aboveground parts of plants while having a positive effect on their growth and development.

Keywords: cesium, biochar, soil-to-plant transfer factor, wheat, vegetables.

https://doi.org/10.29235/1818-9857-2019-3-21-25

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Harris P. On charcoal / P. Harris // Interdisciplinary Science Reviews. 1999. Vol.24. N4, P. 301–306.
2. Cheng C.-H. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient / C.-H. Cheng [et al.] // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2008. Vol.113, N2. – P. 20–27.
3. Glaser B. The 'terra preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics / B. Glaser [et al.] // Naturwissenschaften. 2001. Vol.88, N1. P. 37–41.
4. Swiatkowski A. Influence of the surface chemistry of modified activated carbon on its electrochemical behaviour in the presence of lead(II) ions / A. Swiatkowski [et al.] // Carbon. 2004. Vol. 42, N15. P. 3057–3069.
5. Roussel-Debet S. Screening the importance of soil micro-organisms on radionuclides mobility / S. Roussel-Debet, S. Deneux-Mustin, C. Munier-Lamy // Radioprotection. 2005. Vol.40. P. S87–S91.
6. Lloyd J. R. Microbial transformations of radionuclides: Fundamental mechanisms and biogeochemical implications / J. R. Lloyd, J. C. Renshaw // Metal Ions in Biological Systems. 2005. Vol.44. P. 205–240.
7. Kato F. Accumulation and subcellular localization of cesium in mycelia of streptomyces lividans and a cs tolerant strain, streptomyces sp. Toho-2. / F. Kato [et al.] // Journal of Health Science. 2000. Vol.46, N4. P. 259–262.
8. Perkins J. The influence of ph and external h+ concentration on caesium toxicity and accumulation inescherichia coli andbacillus subtilis / J. Perkins, G. M. Gadd // Journal of Industrial Microbiology. 1995. Vol.14, N3–4. P. 218–225.
9. Ohnuki T. Effect of minerals on accumulation of cs by fungus saccaromyces cerevisiae / T. Ohnuki [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. Vol. 144. P. 127–133.
10. Sasaki H. Accumulation of radioactive cesium released from fukushima daiichi nuclear power plant in terrestrial cyanobacteria nostoc commune / H. Sasaki [et al.] // Microbes and Environments. 2013. Vol.28, N4. P. 466–469.
11. Mahmoud Y. A. Uptake of radionuclides by some fungi / Y. A. Mahmoud // Mycobiology. 2004. Vol.32, N3. P. 110–114.
12. Ehlken S. Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: A review / S. Ehlken, G. Kirchner // Journal of Environmental Radioactivity. 2002. Vol.58, N2–3. P. 97–112.
13. Higa T. Effective microorganisms: A biotecnology for mankind / T. Higa // Proceedings of the 1st international conference on kyusei nature farming. – Washington, DC, 1991. P. 8–14.
14. Pareniuk O. Modification of ^{137}Cs transfer to rape (brassica napus l.) phytomass under the influence of soil microorganisms / O. Pareniuk [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. Vol.149. P. 73–80.
15. Djedidi S. Evaluation of the possibility to use the plant-microbe interaction to stimulate radioactive ^{137}Cs accumulation by plants in a contaminated farm field in Fukushima, Japan / S. Djedidi [et al.] // Journal of Plant Research. 2014. Vol.128, N1. P. 147–159.

Статья поступила в редакцию 10.01.2019 г.